

中性子スピンエコー分光器 (C2-3-1 iNSE)

装置責任者：遠藤 仁 (東京大学物性研究所)

NSE は、中性子スピンの磁場中でのラーモア歳差運動を利用し、入射中性子のエネルギー分解能と試料における遷移エネルギーの分解能を分離することにより、中性子強度を落とさずに高いエネルギー分解能 (数 10neV 相当) を実現する。また、中間相関関数 $I(Q,t)$ を直接測定するメリットもある。主としてソフトマターなどのセミマイクロ構造の動的挙動、特に緩和現象の観測に適している。

1. 装置の概略

波長

波長領域	$7 \leq \lambda \leq 11 \text{ \AA}$
波長分解能	$10 \leq \Delta\lambda/\lambda \leq 20 \%$

ビームサイズ

ポライザ	20mm(H) × 40mm(V)
試料	20mm(H) × 40mm(V)
アナライザ	270mm(H) × 270mm(V)
検出器	320mm(H) × 320mm(V)

経路距離

速度選別機～ポライザ	0.5m
ポライザ全長	6m
ポライザ～試料	~3.5m
試料～アナライザ	3.4 ~ 3.9m
アナライザ～検出器	0.5m

プリセッションコイル (1 対) ~ 最適磁場形状 (OFS) 型コイル

最大磁場積分	$D_{\max} = 0.22 \text{ Tm}$
磁場積分均一度	$\delta D/D < 2 \times 10^{-6}$

ダイナミックレンジ

Q 領域	$0.01 \sim 1.5 \text{ \AA}^{-1}$
Fourier 時間	0.1 ~ 50 nsec

試料環境

温度	10 ~ 150°C
圧力	0.1 ~ 100 MPa

2. 装置の構成

中性子速度選別機 (NVS)、ポライザ、プリセッションコイル、 $\pi/2$ コイル、 π コイル、対称コイル、ガイドコイル、各種補正コイル、アナライザ、2次元位置敏感型検出器、スリット、架台等から構成される。また、液体試料用の電気炉と圧力セルを有する。

3. 装置の特色

NSE は Neutron Spin Echo Spectrometer の略である。測定可能なフーリエ時間の領域は、現在のところ、0.1~50ns で、これはエネルギー分解能に換算すると 10neV~30 μ eV 程度に相当する。バスクーラーを用いて 10°C~50°C、電気炉を用いて室温~150°Cの温度変化ができるだけでなく、100MPa 程度までの高圧実験も可能。これまでは主にマイクロエマルションやミセル、高分子や生体系などいわゆるソフトマターの実験が行われてきた。一昨年度からの移設により、波長域が可変となり、測定可能フーリエ時間が格段に広がった。このためソフトマター系のスローダイナミクスの観測がより広く行える。また、散乱角が 98° 程度まで観測可能となったため、ガラスなど固体試料のダイナミクスも観測対象となりうる。現在高角側及びより広い時間領域については調整中である。

4. 装置の全景

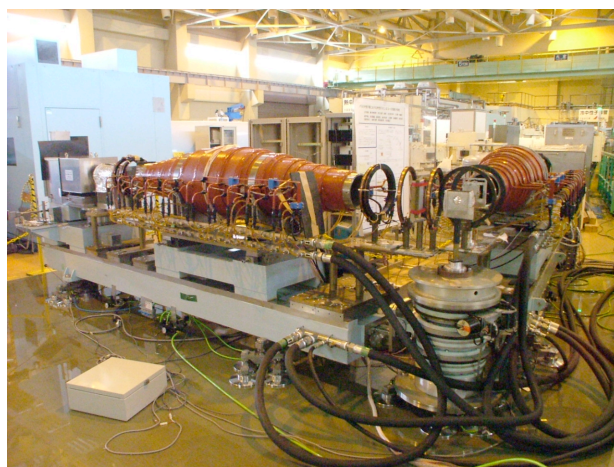


写真 1 : C2-3-1 iNSE の全景

C2-3-1 iNSE での測定例

界面活性剤膜の曲げ弾性定数

水と油と界面活性剤を混合すると、ある条件下で数十Åを特徴的長さとするナノ構造を持つ「マイクロエマルション」を形成する。その構造には droplet や lamellar, bicontinuous など様々なものがあり、温度や圧力、塩濃度等の条件を変えることによりこれらの間の相転移が見られる。

広い組成域で water-in-oil droplet 構造を形成するイオン性界面活性剤 AOT、水、デカンの混合系は、濃度の増加によって droplet サイズは変化せず droplet 濃度だけが変化する。droplet 濃度が 60% 付近に達すると、マクロな粘性率が発散し、glass-like transition と呼ばれる相転移が観測される。

これまでの研究では、droplet 濃度が 60% の濃厚溶液ではフーリエ時間が 15ns 程度までの測定から得られた中間相関関数 $I(Q,t)$ は Zilman & Granek によって提唱された孤立膜の変形運動に関するモデル、

$$I(Q,t) = I(Q,0) \exp(-(\Gamma t)^\beta) \quad (1)$$

によく一致していた。ここで緩和係数 Γ は

$$\Gamma = 0.024 \gamma (k_B T)^{1/\beta} \kappa^{1-(1/\beta)} \eta^{-1} Q^{2/\beta} \quad (2)$$

で表される。今のケースでは $\beta=2/3$ が適応されることが知られており、このことから膜の弾性率 κ と粘性率 η が積として得られる。ISSP-NSE (移設前の本分光器、旧 C2-2 ポート) における測定の結果は、 κ がおよそ $0.4k_B T$ の程度となり、膜の弾性エネルギーが熱揺らぎと同程度であることがわかっていた。図 1 は ISSP-NSE で測定したときに得られた中間相関関数の例である。

移設により利用可能波長域が広がったため、波長 $\lambda=10.7\text{\AA}$ における $I(Q,t)$ の観測を行った。その結果測定時間領域は $\sim 50\text{ns}$ まで広がり、その時間領域に対応する $I(Q,t)$ が観測された。図 2 には 50ns まで観測した $I(Q,t)$ の様子を示した。ISSP-NSE で観測されたデータとの consistency は非常に良く、 $15 \leq t \leq 50\text{ns}$ の領域でも Zilman & Granek のモデルによく従っていることが確認された。このことから、

AOT 系マイクロエマルションの濃厚溶液では、droplet 構造であるが、孤立二次元膜の運動を記述するモデルによって膜の運動を良く表していることがわかった。

このように移設によって、ダイナミックレンジが広がりこれまで観測不能だった領域が観測可能となった。

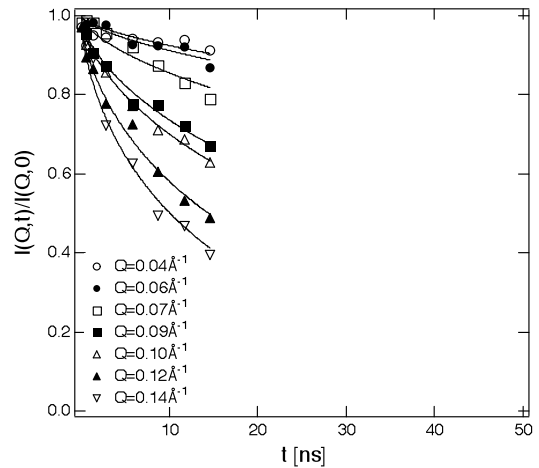


図 1 AOT/D₂O/decane マイクロエマルションから得られた中間相関関数 $I(Q,t)$ (ISSP-NSE での測定例)。実線は式 1 への fitting 結果。

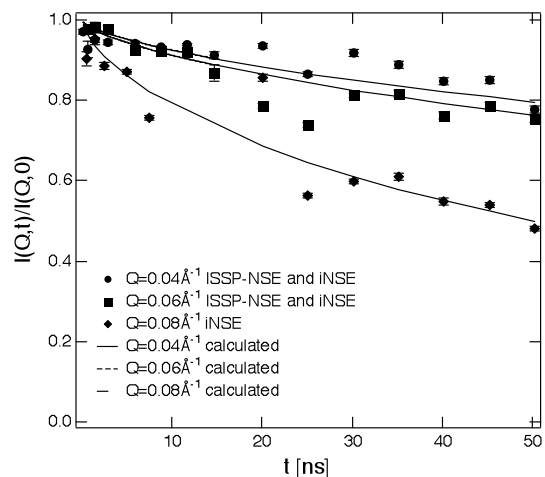


図 2 AOT/D₂O/decane マイクロエマルションから得られた中間相関関数 $I(Q,t)$ (iNSE での測定例)。線は ISSP-NSE で得られたパラメータからの計算結果。波長 10.7\AA を用いることにより、 $t \sim 50\text{ns}$ までの $I(Q,t)$ を国内で初めて観測した。